杜仲提取物对宁乡猪生长性能、血清生化指标和肝脏脂肪代谢的影响

李晨燕[1]　张　杨[1]　肖定福[1]　邢月腾[1]　郁元年[1]　吴　信[2*]　刘星亮[3]　谢献明[3]　张　旭[3]　曾勇波[3]　张　彬[1*]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，湖南省畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128；2.中国科学院亚热带农业生态研究所，长沙 410125；3.宁乡市畜牧兽医水产局，宁乡 410600）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加杜仲提取物对宁乡猪生长性能、血清生化指标和肝脏脂肪代谢的影响。选择体重约43 kg的健康宁乡阉母猪24头，随机分为2个组，每组4个重复，每个重复3头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中添加1 500 mg/kg杜仲提取物。试验期56 d。结果表明：与对照组相比，1）饲粮中添加杜仲提取物可使宁乡猪的平均日增重略有增加，平均日采食量降低46.88 g/d，料重比降低2.74%，但差异均不显著（$P>0.05$）。2）饲粮中添加杜仲提取物可使宁乡猪的血清甘油三酯（TG）和高密度脂蛋白（HDL）含量分别增加33.33%（$0.05\leq P<0.10$）和20.29%（$P<0.05$），血清低密度脂蛋白（LDL）含量显著降低13.21%（$P<0.05$）。3）饲粮中添加杜仲提取物可使宁乡猪肝脏单不饱和脂肪酸（MUFA）中的棕榈烯酸含量增加19.64%（$0.05\leq P<0.10$），多不饱和脂肪酸（PUFA）中亚油酸含量降低10.71%（$0.05\leq P<0.10$）。4）饲粮中添加杜仲提取物可使宁乡猪肝脏中甘油三酯脂肪酶（*ATGL*）、乙酰辅酶A羧化酶（*ACC*）、肝X受体α（*LXRα*）和脂肪酸合成酶（*FAS*）的mRNA表达量分别显著下调62.00%、76.00%、77.00%和82.00%（$P<0.05$）。综上所述，饲粮中添加杜仲提取物可提高宁乡猪的血清HDL含量，降低血清LDL含量，下调肝脏中*FAS*和*ACC*等

收稿日期：2018-05-22

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项资金（CARS-35）；湖南省重点研发计划（2015NK2004）；湖南省研究生科研创新项目（CX2016B277）；湖南农业科技创新资金项目（2017YC03）；湖南省教育厅重点项目（16A096）；宁乡市人民政府与湖南农业大学战略性合作项目（宁乡猪基础研究）

作者简介：李晨燕（1994-），女，陕西渭南人，硕士研究生，从事动物营养生理与代谢调控研究。E-mail: lcy19941227@163.com

*通信作者：吴　信，副研究员，硕士生导师，E-mail: wuxin@isa.ac.cn；张　彬，教授，博士生导师，E-mail: zhb8236@126.com

的mRNA表达量，进而影响机体的脂肪酸代谢。

关键词：杜仲提取物；生长性能；血清生化指标；脂肪酸；宁乡猪

中图分类号：S816.7；S828.9+2　　文献标识码：A　　文章编号：

随着国家对畜牧业中使用抗生素的监管愈来愈严，寻找对动物和人类有益无害的抗生素替代品已成为养殖业向前发展的根本所在。杜仲提取物（*Eucommia ulmoides* Oliver extracts,EUOE）因含有绿原酸、桃叶珊瑚甙和黄酮类化合物等多种活性成分[1-2]，具有抗菌、消炎和抗氧化等功能[3-5]，其在畜牧业中日益受到青睐。宁乡猪是我国著名的偏肉脂型猪种，具有蓄脂力强、适应性广和肉质鲜嫩等特点[6]。目前关于杜仲提取物改善瘦肉型猪生长性能、胴体性状和肉品质的研究很多[7-8]，但对肉脂型猪影响的研究较少，在宁乡猪上更是鲜有报道。本试验主要探索饲粮中添加杜仲提取物对宁乡猪生长性能、血清生化指标和肝脏脂肪代谢的影响，以期为杜仲提取物在地方猪上的科学应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

杜仲提取物的主要成分为绿原酸（≥3.5%）、黄酮类化合物（≥20%）、桃叶珊瑚甙等。

1.2　试验动物与试验设计

试验于湖南省流沙河花猪生态牧业有限公司宁乡花猪生态养殖基地进行。采用单因素试验设计，选择同栋栏舍、同一批次、体重约 43 kg 的健康宁乡阉母猪 24 头，随机分为 2 个组，每组 4 个重复，每个重复 3 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中添加 1 500 mg/kg 杜仲提取物。基础饲粮参照《猪饲养标准》（NY/T 65-2004）中肉脂型猪营养需要，并结合《宁乡猪饲养技术规程》（2009）进行配制，其组成及营养水平参见文献[9]。每天饲喂 3 次（08:00、12:00 和 18:00），消毒和免疫等按照公司常规程序进行。试验期 56 d。

1.3　样品采集与检测指标

1.3.1　生长性能测定

试验开始和结束时，测定各组猪的体重，统计每栏的总采食量，计算平均日采食量、平均日增重及料重比。

1.3.2　血清生化指标测定

试验结束时，每个重复挑选 1 头猪进行前腔静脉采血 10 mL 于离心管中，室温静置 1 h 后 4 ℃、3 000 r/min 离心 10 min，收集血清分装于 1.5 mL 无菌离心管中，-20 ℃保存。采用全自动生化分析仪（Beckman，美国）检测血清葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（TC）、高密度脂蛋白（HDL）和低密度脂蛋白（LDL）含量。

1.3.3　肝脏中长链脂肪酸含量测定

试验结束时，禁食 24 h，自由饮水，每个重复挑选 1 头猪进行屠宰，取肝中叶于锡箔纸包好，放入液氮速冻后转置于-80 ℃冰箱中保存。将肝脏样品冷冻干燥后，称 0.5 g 左右，经苯石油醚提取、氢氧化钾甲醇甲酯化后，进气相色谱经 FID 检测器分析肝脏中长链脂肪酸含量，具体方法参照喻文娟等[10]外标气相-色谱-质谱法进行。总脂肪含量的测定参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》（GB 5009.6—2016）进行。

1.3.4　肝脏中脂肪代谢相关基因表达量测定

采用 Trizol（Invitrogen 公司，美国）提取肝脏组织中总 RNA，取 1 000 ng 进行反转录（试剂盒购自 TaKaRa 公司），具体操作方法按照说明书进行。利用实时荧光定量 PCR 技术检测肝脏中脂肪代谢相关基因的 mRNA 表达量，引物（序列见表 1）由上海生物工程有限公司合成，以β-肌动蛋白（β-actin）为内参基因，以过氧化物酶增殖体激活受体α（*PPARα*）、甘油三酯脂肪酶（*ATGL*）、乙酰辅酶 A 羧化酶（*ACC*）、肝 X 受体α（*LXRα*）和脂肪酸合成酶（*FAS*）为目的基因进行相对定量分析。

表 1　引物序列

Table 1　Primer sequences

基因 Genes	引物序列 Primer sequences

β-肌动蛋白 β-actin	F:5'-CGTTGGCTGGTTGAGAATC-3'
	R:5'-CGGCAAGACAGAAATGACAA-3'
过氧化物酶增殖体激活受体α *PPARα*	F:5'-GCTATCATTTGGTGCGGAGAC-3'
	R:5'-GGAGTTTGGGGAAGAGAAAGAC-3'
甘油三酯脂肪酶 *ATGL*	F:5'-ATGGTGCCCTACACGCTG-3'
	R:5'-GCCTGTCTGCTCCTTTATCC-3'
乙酰辅酶 A 羧化酶 *ACC*	F:5'-TCCCAGTGCAAGCAGTATG-3'
	R:5'-TGCCAATCCACACGAAGAC-3'
脂肪酸合成酶 *FAS*	F:5'-GTCCTGCTGAAGCCTAACTC-3'
	R:5'-TCCTTGGAACCGTCTGTG-3'
肝 X 受体α *LXRα*	F:5′-GTAGATGGCTGAGGCGTGAC-3′
	R:5′-TTCCCAACCCTTTGACTCTTT-3′

1.4 统计分析

试验数据经 Excel 2016 初步整理后，用 SPSS 21.0 统计软件中的独立样本 *t* 检验进行各组间差异显著性比较，结果以“平均值±标准误（mean±SE）”表示。P<0.05 为差异显著，0.05≤P<0.10 为差异趋于显著。

2 结 果

2.1 杜仲提取物对宁乡猪生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，试验组宁乡猪的平均日增重略有增加，平均日采食量降低 46.88 g/d，料重比降低 2.74%，但差异均不显著（P>0.05）。

表 2 杜仲提取物对宁乡猪生长性能的影响

Table 2 Effects of EUOE on growth performance of *Ningxiang* pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group	*P* 值 *P*-value

始重 IW/kg	42.83±0.65	43.02±0.58	0.835
末重 FW/kg	72.41±1.09	72.71±1.24	0.862
平均日增重 ADG/(g/d)	528.27±27.05	530.13±20.35	0.958
平均日采食量 ADFI/(g/d)	2 115.73±38.78	2 068.85±55.78	0.516
料重比 F/G	4.01±0.20	3.90±0.22	0.724

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as below.

2.2 杜仲提取物对宁乡猪血清生化指标的影响

由表 3 可知，与对照组相比，试验组宁乡猪的血清 TG 和 HDL 含量分别增加 33.33%（0.05≤*P*<0.10）和 20.29%（*P*<0.05），血清 LDL 含量显著降低 13.21%（*P*<0.05），血清 GLU 和 TC 含量有所降低，但无显著差异（*P*>0.05）。

表 3 杜仲提取物对宁乡猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of EUOE on serum biochemical indexes of *Ningxiang* pigs mmol/L

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group	*P* 值 *P*-value
葡萄糖 GLU	4.31±0.24	3.65±0.27	0.118
甘油三酯 TG	0.36±0.02	0.48±0.05	0.067
总胆固醇 TC	2.92±0.03	2.76±0.10	0.176
高密度脂蛋白 HDL	$0.69±0.03^{b}$	$0.83±0.04^{a}$	0.031
低密度脂蛋白 LDL	$1.59±0.03^{a}$	$1.38±0.04^{b}$	0.006

2.3 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中长链脂肪酸含量的影响

由表 4 可知，与对照组相比，试验组宁乡猪肝脏中总脂肪含量虽有所提高，但差异不显著（$P>0.05$）；肝脏单不饱和脂肪酸（MUFA）中的棕榈烯酸含量增加 19.64%（$0.05\leq P<0.10$）；多不饱和脂肪酸（PUFA）中亚油酸含量降低 10.71%（$0.05\leq P<0.10$）。

表 4 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中长链脂肪酸含量的影响

Table 4 Effects of EUOE on liver long-chain fatty acid contents of *Ningxiang* pigs %

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group	*P* 值 *P*-value
总脂肪 TF	15.66±0.79	15.79±0.53	0.896
肉豆蔻酸 C14:0	0.12±0.01	0.15±0.02	0.228
十五烷酸 C15:0	0.09±0.01	0.08±0.02	0.670
棕榈酸 C16:0	18.24±0.33	17.06±1.25	0.397
十七烷酸 C17:0	0.70±0.10	0.65±0.07	0.696
硬脂酸 C18:0	29.37±2.22	30.37±0.65	0.681
棕榈烯酸 C16:1	0.56±0.03	0.67±0.04	0.070
十七碳烯酸 C17:1	0.08±0.01	0.06±0.01	0.207
油酸 C18:1n9*c*	15.82±0.50	15.71±1.11	0.931
二十碳烯酸 C20:1	0.17±0.01	0.17±0.03	1.000
亚油酸 C18:2n6*c*	15.69±0.21	14.01±0.68	0.056
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.92±0.24	1.18±0.25	0.482
花生四烯酸 C20:4n6	17.02±1.62	18.10±2.81	0.751
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.88±0.21	0.94±0.16	0.828
饱和脂肪酸 SFA	48.57±2.58	48.36±1.63	0.947

单不饱和脂肪酸 MUFA	16.71±0.53	16.75±1.13	0.976
多不饱和脂肪酸 PUFA	34.72±2.07	34.89±2.70	0.962

2.4 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中脂肪代谢相关基因表达量的影响

由表 5 可知，与对照组相比，试验组宁乡猪肝脏中 *ATGL*、*ACC*、*LXRα*和 *FAS* 的 mRNA 表达量分别显著下调 62.00%、76.00%、77.00%和 82.00%（$P<0.05$），*PPARα*的 mRNA 表达量则无显著差异（$P>0.05$）。

表 5 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中脂肪代谢相关基因表达量的影响

Table 5 Effects of EUOE on expression levels of genes involved in lipid metabolism in liver of *Ningxiang* pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group	*P* 值 *P*-value
过氧化物酶增殖体激活受体α *PPARα*	1.00±0.26	0.62±0.21	0.299
甘油三酯脂肪酶 *ATGL*	1.00±0.07[a]	0.38±0.17[b]	0.015
乙酰辅酶 A 羧化酶 *ACC*	1.00±0.17[a]	0.24±0.06[b]	0.006
肝 X 受体α *LXRα*	1.00±0.13[a]	0.23±0.09[b]	0.003
脂肪酸合成酶 *FAS*	1.00±0.14[a]	0.18±0.02[b]	0.001

3 讨 论

3.1 杜仲提取物对宁乡猪生长性能的影响

生长性能的高低直接决定育肥猪的产肉能力，影响养殖场的经济效益。杜仲提取物作为绿色添加剂，兼有药理和生理功能，不但可以提高饲粮的养分利用率[11]，而且对肠道健康具有重要作用[12]。研究发现，饲粮中添加杜仲叶或其提取物可使育肥猪的平均日增重显著增加，料重比显著降低[4,7]。也有报道显示，饲粮中添加杜仲叶粉显著降低生长肥育猪的平均日采

食量和平均日增重[13]。本试验中，与对照组相比，试验组宁乡猪的料重比降低，平均日增重有所增加，但差异不显著，这可能是由于杜仲提取物中含有的绿原酸、黄酮类化合物等物质会抑制肝脏肿瘤坏死因子-*α*（*TNF-α*）的 mRNA 表达，京尼平能促进胆汁分泌[14]，也可能是由于试验动物为育肥期宁乡猪，其肠道发育已经比较完善，因此未能显著提高平均日采食量。

3.2 杜仲提取物对宁乡猪血清生化指标的影响

血清生化指标的变化会影响动物机体的新陈代谢以及营养物质的沉积，且受动物生长发育阶段、内分泌状况和饲粮营养水平等因素的影响[15]。本试验结果显示，饲粮中添加杜仲提取物可提高宁乡猪的血清 TG 含量，与杨灿等[16]对杜仲提取物在哺乳母猪上的研究结果一致。研究表明，杜仲提取物中的绿原酸有抑制肠道胰脂肪酶和肝脏甲基戊二酸辅酶 A 还原酶活性的功能，从而影响脂肪吸收和胆固醇合成，降低脂肪沉积[17]。本试验中，饲粮中添加杜仲提取物能够显著降低宁乡猪的血清 LDL 含量，显著提高血清 HDL 含量，可能是由于杜仲提取物中的绿原酸能够有效调节体内的血脂代谢，对肝脏起到保护作用，这与 Choi 等[18]和刘云龙[19]的研究结果一致。

3.3 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中长链脂肪酸含量的影响

脂肪酸可分为饱和脂肪酸（SFA）、MUFA 和 PUFA。SFA 和 MUFA 与肉质有正的相关性，可改善猪肉的嫩度、香味和风味等，但 SFA 会在血液中转化为胆固醇，导致动脉硬化，所以 SFA 含量过高对人体健康有害。PUFA 含量过高则易导致肌肉氧化、酸败，脂肪松软，肉品质下降[20-21]。本试验结果显示，与对照组相比，试验组宁乡猪肝脏中 SFA 含量降低 0.43%，MUFA 和 PUFA 含量分别增加 0.43%和 0.49%，但均无显著差异，说明饲粮中添加杜仲提取物对肝脏中脂肪酸组成无显著影响。但试验组肝脏 SFA 中棕榈烯酸含量有增加趋势，PUFA 中亚油酸含量有降低趋势。研究表明，棕榈烯酸能降低人的血清 TC 含量[22]。PUFA 中亚油酸能够降低血清 TG 含量[23]，与本试验研究结果一致。此外，杜仲提取物富含绿原酸、杜仲黄酮等抗氧化物质，可以延缓肝脏脂肪酸中不饱和脂肪酸（UFA）的氧化损失，

因此提高了部分 UFA 的含量，其具体的作用机制还有待进一步研究。

3.4 杜仲提取物对宁乡猪肝脏中脂肪代谢相关基因表达量的影响

动物体内的脂肪是在肝脏中通过脂肪代谢酶催化糖及氨基酸代谢中间产物内源性合成。肝脏中含有种类丰富的脂肪代谢相关酶，是动物体内脂肪酸合成的重要场所，在脂肪代谢中起重要作用[24]。在脂肪代谢过程中，关键性的酶有 PPARα、ATGL、ACC、FAS 和 LXRα等，其中 ACC 和 FAS 与脂肪酸合成有关，而 ATGL、PPARα和 LXRα与脂肪分解有关[9]。研究显示，杜仲提取物能促进大鼠肝脏脂肪氧化、降低四氯化碳（CCl_4）诱导的脂肪沉积[25-26]。本试验结果表明，与对照组相比，试验组宁乡猪肝脏中 *ATGL*、*ACC*、*LXRα*和 *FAS* 的 mRNA 表达量显著下调。杜仲提取物中的主要化学成分有绿原酸、黄酮类化合物和桃叶珊瑚甙。研究表明，绿原酸对肝脏有保护作用[3]。ACC 可催化乙酰辅酶 A 合成丙二酸单酰辅酶 A，为脂肪酸合成提供二碳单位，因此认为 ACC 是调控脂肪酸合成的限速酶[27]。FAS 可催化乙酰辅酶 A 和丙二酸单酰辅酶 A 合成脂肪酸，添加杜仲提取物会抑制 *FAS* 的 mRNA 表达，从而减少体脂沉积[28]。杜仲提取物可降低肝脏中 *FAS* 和 *ACC* 的 mRNA 表达量，致使肝脏中脂肪酸合成降低，体脂沉积减少，从而影响肝脏的脂肪代谢[17,27]。ATGL 是脂肪代谢中的限速酶，其可将 TG 水解为甘油二酯和游离脂肪酸[29]。肝脏中 *ATGL* 的 mRNA 表达量下调可能也是导致血清中 TG 含量升高的原因。*LXRα*是核受体超家庭中的一员，参与脂类平衡。杜仲提取物中的绿原酸能够显著抑制 *LXRα*的 mRNA 表达，研究表明，杜仲提取物可能会通过调控 *LXRα*的 mRNA 表达而抑制 TG 含量[30]。本试验结果表明，杜仲提取物通过对肝脏中脂肪代谢相关基因表达的调控，影响机体的脂肪酸代谢。

4 结 论

饲粮中添加杜仲提取物对宁乡猪的生长性能无显著影响，但能提高血清HDL含量，降低血清LDL含量，抑制肝脏中脂肪代谢相关基因*FAS*和*ACC*等的mRNA表达，进而影响机体的棕榈烯酸和亚油酸代谢。

参考文献：

[1] ZHU M Q,SUN R C.*Eucommia ulmoides* Oliver:a potential feedstock for bioactive products[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2018,66(22):5422–5438.

[2] HUSSAIN T,TAN B E,LIU G,et al.Health-promoting properties of *Eucommia ulmoides*:a review[J].Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine,2016,2016:5202908.

[3] XIE G P,JIANG N,WANG S N,et al.*Eucommia ulmoides* Oliv. bark aqueous extract inhibits osteoarthritis in a rat model of osteoarthritis[J].Journal of Ethnopharmacology,2015,162:148–154.

[4] 石海仁,滚双宝,张生伟,等.杜仲叶对育肥猪生长性能、胴体性状、抗氧化能力及肠道菌群的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):350–359.

[5] LIU H W,LI K,ZHAO J S,et al.Effects of polyphenolic extract from *Eucommia ulmoides* Oliver leaf on growth performance,digestibility,rumen fermentation and antioxidant status of fattening lambs[J].Animal Science Journal,2018,89(6):888–894.

[6] FENG Z M,GUO J P,KONG X F,et al.Molecular cloning and expression profiling of G protein coupled receptor 120 in Landrace pig and different Chinese indigenous pig breeds[J].Journal of Food Agriculture and Environment,2012,10(3):809–814.

[7] ZHOU Y,RUAN Z,LI X L,et al.*Eucommia ulmoides* Oliver leaf polyphenol supplementation improves meat quality and regulates myofiber type in finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2016,94(9):164–169.

[8] 王建辉,贺建华,易宣,等.杜仲提取物对猪生长性能及血液指标的影响[J].饲料研究,2007,(2):1–4.

[9] 秦龙山,邢月腾,张杨,等.半胱胺对宁乡猪胴体性状和肉品质的影响[J].动物营养学报,2017,29(9):3325–3330.

[10] 喻文娟,侯静文,朱邦尚.外标-气相色谱-质谱法准确测定猪肉中的 14 种脂肪酸[J].分析

仪器,2012(3):10–16.

[11] 赵帅,段明房,胡红伟,等.杜仲叶的功能及在养殖动物中的应用[J].饲料博览,2017(3):27–30.

[12] KIM D C,KIM D S,KIM S J,et al.Eucommiae cortex inhibits TNF-α and IL-6 through the suppression of Caspase-1 in lipopolysaccharide-stimulated mouse peritoneal macrophages[J].The American Journal of Chinese Medicine,2012,40(1):135–149.

[13] LEE S D,KIM H Y,SONG Y M,et al.The effect of *Eucommia ulmoides* leaf supplementation on the growth performance,blood and meat quality parameters in growing and finishing pigs[J].Animal Science Journal,2009,80(1):41–45.

[14] 陈鹏,杨在宾,黄丽波,等.八角和杜仲叶提取物对断奶仔猪生长性能、血清酶活性及肝脏肿瘤坏死因子-α分布和表达的影响[J].动物营养学报,2017,29(3):874–881.

[15] WANG J P,YOO J S,KIM H J,et al.Nutrient digestibility,blood profiles and fecal microbiota are influenced by chitooligosaccharide supplementation of growing pigs[J].Livestock Science,2009,125(2/3):298–303.

[16] 杨灿,唐小武,苏文璇,等.杜仲叶乙醇粗提物对母猪血液生化指标的影响[J].中国饲料,2018(1):55–58.

[17] 郑国栋,潘永芳,黎冬明,等.杜仲叶对小鼠肝脏脂肪代谢酶活性的影响[J].中国食品学报,2014,14(11):22–26.

[18] CHOI M S,JUNG U J,KIM H J,et al.Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaf extract mediates hypolipidemic action in hamsters fed a high-fat diet[J].The American Journal of Chinese Medicine,2008,36(1):81–93.

[19] 刘云龙.绿原酸对大鼠非酒精性脂肪肝细胞凋亡的影响[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2015.

[20] 李庆岗,经荣斌.猪肌内脂肪酸的研究进展[J].中国畜牧兽医,2004(3):10–12.

[21] GRINDFLEK E,SUNDVOLD H,LIEN S,et al.Rapid communication:physical and genetic mapping of the peroxisome proliferator activated receptor γ (*PPARγ*) gene to porcine chromosome 13[J].Journal of Animal Science,2000,78(5):1391–1392.

[22] SUNDRAM K,HAYES K C,SIRU O H.Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1994,59(4):841–846.

[23] 张春娥,张惠,刘楚怡,等.亚油酸的研究进展[J].粮油加工,2010(5):18–21.

[24] 田志梅,马现永,王丽,等.长期饲喂不同蛋白质水平饲粮对猪脂肪代谢相关基因表达的影响[J].动物营养学报,2017,29(10):3761–3772.

[25] KOBAYASHI Y,HIROI T,ARAKI M,et al.Facilitative effects of *Eucommia ulmoides* on fatty acid oxidation in hypertriglyceridaemic rats[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2012,92(2):358–365.

[26] JIN C F,BO L,LIN S M,et al.Mechanism of the inhibitory effects of *Eucommia ulmoides* Oliv. cortex extracts (EUCE) in the CCl_4-induced acute liver lipid accumulation in rats[J].International Journal of Endocrinology,2013,2013:751854.

[27] 周艳.杜仲叶多酚提取物对猪肉品质及绿原酸缓解肝-肠损伤研究[D].博士学位论文.南昌:南昌大学,2015.

[28] 单体中,汪以真.猪不同生长阶段脂肪酸合成酶基因的表达差异[J].农业生物技术学报,2006,14(2):293–294.

[29] WATT M J,VAN DENDEREN B J W,CASTELLI L A,et al.Adipose triglyceride lipase regulation of skeletal muscle lipid metabolism and insulin responsiveness[J].Molecular Endocrinology,2008,22(5):1200–1212.

[30] HAO S,XIAO Y,LIN Y,et al.Chlorogenic acid-enriched extract from *Eucommia ulmoides* leaves inhibits hepatic lipid accumulation through regulation of cholesterol metabolism in HepG2 cells[J].Pharmaceutical Biology,2016,54(2):251–259.

Effects of *Eucommia ulmoides* Oliver Extracts on Growth Performance, Serum Biochemical Indexes and Liver Lipid Metabolism of *Ningxiang* Pigs

LI Chenyan[1] ZHANG Yang[1] XIAO Dingfu[1] XING Yueteng[1] YU Yuannian[1] WU Xin[2*] LIU Xingliang[3] XIE Xianming[3] ZHANG Xu[3] ZENG Yongbo[3] ZHANG Bin[1*]

(1. *Hunan Co-Innovation Center of Safety Animal Production, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China;* 2. *Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China;* 3. *Ningxiang Animal Husbandry, Veterinary and Aquatic Products Bureau, Ningxiang* 410600*, China*)

Abstract: This study was conducted to determine the effects of dietary *Eucommia ulmoides* Oliver extracts (EUOE) on growth performance, serum biochemical indexes and liver lipid metabolism of *Ningxiang* pigs. Twenty-four healthy castrated female *Ningxiang* pigs with the body weight of about 43 kg were randomly allocated to 2 groups with 4 replicates per group and 3 pigs per replicate. Pigs in control group were fed a basal diet, and the others in experimental group were fed the basal diet supplemented with 1 500 mg/kg EUOE. The experiment lasted for 56 days. The results showed as follows: compared with control group, 1) dietary EUOE increased average daily gain of *Ningxiang* pigs slightly, decreased average daily feed intake by 46.88 g/d and the ratio of feed to gain by 2.74%, but there were no significant differences (P>0.05). 2) Dietary EUOE significantly increased the content of high-density lipoprotein (HDL) in serum of *Ningxiang* pigs

*Corresponding authors: WU Xin, associate professor, E-mail: wuxin@isa.ac.cn; ZHANG Bin, professor, E-mail: zhb8236@126.com （责任编辑　李慧英）

by 20.29% (P<0.05) and tended to increase the content of triglyceride (TG) in serum by 33.33% (0.05≤P<0.10), and significantly decreased the content of low-density lipoprotein (LDL) in serum by 13.21% (P<0.05). 3) Dietary EUOE tended to increase the content of palmitoleic acid of monounsaturated fatty acids (MUFA) in liver of *Ningxiang* pigs by 19.60% (0.05≤P<0.10), and tented to decrease the content of linoleic acid of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in liver by 10.71% (0.05≤P<0.10). 4) Dietary EUOE significantly down-regulated the mRNA expression levels of adipose triglyceride lipase (*ATGL*), acetyl-CoA carboxylase (*ACC*), liver X receptor *α* (*LXRα*) and fatty acid synthase (*FAS*) in liver of *Ningxiang* pigs by 62.00%, 76.00%, 77.00% and 82.00%, respectively (P<0.05). These results indicate that dietary EUOE can affect fatty acids metabolism of *Ningxiang* pigs by increasing the content of HDL in serum and decreasing the content of LDL in serum and down-regulating the mRNA expression levels of *FAS*, *ACC* and so on in liver.

Key words: *Eucommia ulmoides* Oliver extracts; growth performance; serum biochemical indexes; fatty acids; *Ningxiang* pig